

эффективность использования кислорода в конкретном тепловом агрегате может быть оценена по величине коэффициента эффективности (К), представляющего собой отношение удельной экономии топлива (Δb , $\text{м}^3/\text{т}$) к удельному расходу кислорода (Δb_{O_2} , $\text{м}^3/\text{т}$):

$$K = \Delta b / \Delta b_{\text{O}_2} = (\eta_2 - \eta_1) \cdot 0,79 / [\eta_1 \cdot L_n \cdot (k_{\text{O}_2} - 0,21)],$$

где η_1 и η_2 – коэффициенты использования теплоты топлива, рассчитанные для агрегата, работающего, соответственно, на атмосферном воздухе и воздухе обогащенном кислородом; L_n – действительный расход обогащенного воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$; k_{O_2} – доля кислорода в обогащенном воздухе.

Под рациональным следует понимать такое распределение излишков кислорода между потребителями, при котором приоритет на использование кислорода отдается агрегату с наибольшей величиной коэффициента эффективности К. Если излишки кислорода полностью не использованы в агрегате, обладающем наивысшим приоритетом, то остатки кислорода используются в следующем тепловом агрегате согласно его приоритету и т.д. Эффективность предложенной методики показана на примере трубопрокатного цеха, оборудованного тремя нагревательными печами различной конструкции и обладающими разными показателями энергоэффективности. Показано, что рациональное распределение кислорода между печами позволяет увеличить экономию топлива на 78 % по сравнению с вариантом, когда потребители выбираются произвольно.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗНОСА СЛОЯ ЗАЩИТНОГО ШЛАКОВОГО ГАРНИСАЖА НА ДНИЩЕ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА ПРИ ПРОДУВКЕ РАСПЛАВА

С.П.Пантейков, доцент, Е.С.Пантейкова, студентка
Днепродзержинский государственный технический университет

В связи с широким распространением в мире высокоэффективной технологии ошлакования футеровки конвертера актуальным вопросом является изучение теплового состояния днища кислородного конвертера при работе агрегата с ошлакованием футеровки и без такового с целью досконального изучения влияния различных факторов на стойкость огнеупоров днищ конвертеров и “живучести” защитного шлакового гарнисажа на них.

Для упрощения экспериментальных работ по исследованию данного вопроса авторами работы разработана математическая модель

[1] теплового состояния днища кислородного конвертера по ходу продувки, учитывающая наличие на нём слоя намороженного шлакового гарнисажа.

Согласно данной математической модели распределение температур в расчётной области описывается одномерным уравнением теплопроводности (по высоте днища конвертера, которое состоит из следующих расчётных областей: кожух конвертера + огнеупорный материал днища + шлаковый гарнисаж + корка расплава, которая может наморозиться на защитное шлаковое покрытие днища конвертера) в декартовых координатах:

$$\rho(t, x) \cdot c(t, x) \cdot \frac{\partial \vartheta(t, x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(t, x) \cdot \frac{\partial \vartheta(t, x, \tau)}{\partial x} \right], \quad 0 < x \leq z_2(\tau), \quad \tau > 0, \quad (1)$$

где $\vartheta(t, x)$ – температура, как функция текущих координаты x и времени продувки τ , °C; $\rho(t, x)$, $c(t, x)$, $\lambda(t, x)$ – плотность, кг/м³, теплоёмкость, Дж/(кг·°C), теплопроводность, Вт/(м·°C), материала, как функции текущих температур t и координаты x .

Решается задача Стефана с двумя подвижными границами $z_1(\tau)$ и $z_2(\tau)$ (соответственно границы раздела твёрдого и жидкого шлака, а также твёрдого и жидкого расплава) с граничными условиями III и IV рода. Поверхность кожуха днища конвертера обменивается теплом с окружающей атмосферой посредством свободной конвекции: Между кожухом конвертера и футеровкой днища, футеровкой днища и шлаковым гарнисажем, а так же между шлаковым гарнисажем и намёрзшей на него корочкой расплава существует идеальный тепловой контакт, т.е. на границах соприкосновения указанных материалов заданы условия сопряжения. При отсутствии намёрзшего слоя корочки расплава на рабочей поверхности шлакового гарнисажа происходит конвективный теплообмен слоя шлака с жидким расплавом. В условиях присутствия намороженной корочки расплава на шлаковом гарнисаже происходит конвективный теплообмен указанной корочки с жидким расплавом. Моделью учитывается полное оплавление защитного шлакового гарнисажа и корочки расплава с оголением поверхности футеровки днища конвертера. При этом принимается, что футеровка днища не оплавляется в результате её контакта с высокотемпературным расплавом, так как задача исследования процесса срабатывания футеровки не ставится. На границе раздела жидкого и твёрдого шлака задаётся калометрическое уравнение Стефана, а температура принимается равной температуре плавления шлака. Задача решена методом контрольного объёма [2], для расчёта

размеров движущихся границ плавления-намерзания применён численный метод Дюзимбера [3]. Для аппроксимации уравнения теплопроводности (1) в его конечно-разностный аналог использована явная разностная схема расчётов [4].

Программа расчётов написана на алгоритмическом языке Turbo Pascal 7.0 и реализована на персональном компьютере применительно к промышленным 160-т и 250-т конвертерам. Получена информация о распределении температур и температурных градиентов по высоте днища, толщины гарнисажного покрытия в любой момент продувки с возможностью моделирования вида применяемого огнеупора, начальной толщины шлакового покрытия и толщины днища конвертера.

Полученные результаты позволили проанализировать влияние вида применяемого огнеупора днища, начальной толщины гарнисажного слоя и температуры шлака плавления на процесс износа (плавления) защитного слоя шлака в процессе продувки расплава в конвертере. Выданы рекомендации относительно параметров шлакового покрытия с целью эффективной защиты футеровки днища конвертеров за счёт повышения однородности температурного поля в их огнеупорном материале (т.е. уменьшения в нём температурных градиентов) при минимально необходимой толщине шлакового покрытия. Полученные поля температурных градиентов в дальнейшем будут использованы для расчёта термических напряжений.

Список литературы

1. Пантейков С.П., Пантейкова Е.С. Математическая модель теплового состояния днища кислородного конвертера с учётом слоя защитного шлакового покрытия // «Современная металлургия нового тысячелетия»: Сб. науч. тр. XI Международной научно-практической конференции. – Часть 1. – Липецк: ЛГТУ, 2015. – С.89-92.
2. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. - М: Мир, 1983. - 512 с.
3. Радл У. Затвердевание отливок. - М.: Машгиз, 1960. - 391 с.
4. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: Учебное пособие для вузов. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. - 432 с.

О ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЯХ В ОДНОКАНАЛЬНЫХ ФУРМЕННЫХ БЛОКАХ ДЛЯ ПРОДУВКИ РАСПЛАВА НЕЙТРАЛЬНЫМИ ГАЗАМИ В КОНВЕРТЕРЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДУТЬЯ

С.П. Пантейков, доцент, Л.П. Семерунина, аспирантка,
Днепропетровский государственный технический университет

Многообразие дутьевых устройств (пористые, одноканальные, щелевые, многоканальные, кольцевые, типа “труба в трубе” и т.д.) для